

LOKASI KRITIS JALUR EVAKUASI PENUMPANG KAPAL PENYEBERANGAN ANTARPULAU DENGAN METODE PERGERAKAN SIMULTAN

Andi Haris Muhammad

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Jln. Perintis Kemerdekaan KM 10,
Kampus UNHAS, Makassar 90245
Tlp. (0411) 586015
andi_haris@yahoo.com

Daeng Paroka

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Jln. Perintis Kemerdekaan KM 10,
Kampus UNHAS, Makassar 90245
Tlp. (0411) 586015
d_paroka@yahoo.com

Abstract

One important factor to avoid casualties on a shipwreck is a safe evacuation route design. Number of locations that can slow the evacuation process, such as doors, stairs and corridors are essential for analysis. This paper discusses a number of critical locations that have the potential failure of evacuation, particularly in the inter-island ferry. The method used to identify the critical location or locations, where the density of passengers occurs during the evacuation process, is the Simultaneous Movement Method. The simulation results showed that the total time required to evacuate passengers was 870 seconds or 14.50 minutes. This time is much smaller than the time required by the International Maritime Organization (60 minutes). Potential passenger density or the critical path starts at the door 1 when the path traversed by all economy class passengers before entering the hall 1 and hall 2. The number of passengers that accumulates at these sites is 72 people on the 300th second. Furthermore, passenger density occurs at the meeting area of the movement passengers toward the exit deck, where the passengers come from the corridors 3 and 4. At that location the density of passengers reached 76 people in the 490th second. The potential location or the critical point of passenger evacuation path occurs at the junction between two or more evacuation lanes, especially in the transition location, such as at doors, stairs, or narrowing lane due to the large number of passengers.

Keywords: evacuation lane, critical location, evacuation time, emergency exit, ferry

Abstrak

Salah satu faktor penting untuk menghindari terjadinya korban jiwa pada suatu kecelakaan kapal adalah desain jalur evakuasi yang aman. Sejumlah lokasi yang dapat memperlambat proses evakuasi, seperti pintu-pintu, tangga, dan koridor penting untuk dianalisis. Makalah ini membahas sejumlah lokasi kritis yang berpotensi terjadinya kegagalan evakuasi, khususnya pada kapal penyeberangan antarpulau. Metode yang digunakan untuk mengidentifikasi lokasi kritis atau lokasi tempat terjadinya kepadatan penumpang selama proses evakuasi adalah Metode Pergerakan Simultan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa total waktu evakuasi yang diperlukan penumpang adalah 870 detik atau 14,50 menit. Waktu tersebut lebih kecil daripada waktu yang disyaratkan Organisasi Maritim Internasional (60 menit). Potensi kepadatan penumpang atau jalur kritis dimulai pada pintu 1 ketika jalur tersebut dilalui oleh semua penumpang kelas ekonomi sebelum memasuki koridor 1 dan koridor 2. Jumlah penumpang yang terakumulasi pada lokasi tersebut adalah 72 orang pada detik ke-300. Selanjutnya kepadatan penumpang terjadi pada daerah pertemuan pergerakan penumpang yang menuju pintu darurat geladak, yaitu penumpang yang berasal dari koridor 3 dan koridor 4. Pada lokasi tersebut terjadi kepadatan penumpang yang mencapai 76 orang pada detik ke-490. Potensi lokasi atau titik kritis jalur evakuasi penumpang terjadi pada pertemuan antara dua atau lebih jalur evakuasi, khususnya pada lokasi transisi, seperti pada pintu, tangga, atau penyempitan jalur yang disebabkan jumlah penumpang yang besar.

Kata-kata kunci: jalur evakuasi, lokasi kritis, waktu evakuasi, pintu darurat, kapal penyeberangan

PENDAHULUAN

Untuk menghindari korban jiwa saat terjadinya kebakaran kapal, khususnya kapal penyeberangan antarpulau tipe Ferry Ro-Ro, desain ruang, jalur evakuasi antarruang

sebagai akses penyelamatan penumpang hingga *muster station* penting untuk dianalisis. Hal tersebut sangat mendukung selama proses evakuasi penumpang dan anak buah kapal (ABK). Berdasarkan sumber api terjadinya kebakaran, sesuai dengan 80 data kapal yang dikumpulkannya dari tahun 1998-2007 (termasuk Ferry Ro-Ro), Hakkarainen, et al. (2009) mengindikasikan bahwa 73 % sumber api berasal dari ruang mesin, disusul oleh ruang muat kendaraan dan ruang akomodasi penumpang, masing-masing sebesar 16 % dan 11 %. Vanen dan Skjong (2006) menjelaskan bahwa peluang penyelamatan kapal Ferry Ro-Ro memerlukan waktu lebih banyak dibandingkan dengan kapal penumpang lainnya.

Organisasi Maritim Internasional (IMO) telah mengatur metode sederhana analisis evakuasi penumpang dan ABK kapal penyeberangan tipe *Ferry Ro-Ro (roll on roll off)*. Untuk mengakuratkan regulasi tersebut sejumlah asumsi telah dikembangkan oleh banyak peneliti, di antaranya: (a) kecepatan berjalan sangat bergantung pada kepadatan kerumunan orang, tipe dan model jalur, serta arah gerakan kerumunan; (b) arah pergerakan berlawanan umumnya diperhitungkan berdasarkan *counter flow factor*; (c) pergerakan orang diasumsikan tanpa rintangan; dan (d) Pengaruh pergerakan kapal, umur penumpang, serta keterbatasan ruang gerak akibat asap semuanya diperhitungkan melalui *safety factor* (IMO, 2002)

Lee, et al. (2003) telah menuliskan sejumlah penelitian pengaruh pergerakan orang (kecepatan berjalan), kepadatan penumpang, serta kemiringan koridor (*trim* dan *heeling*) terhadap proses evakuasi penumpang. Sehubungan dengan hal tersebut, dijelaskan bahwa kecepatan berjalan secara berkelompok akan mengurangi kecepatan sebesar 20 % dibanding berjalan secara sendirian dengan jarak antara kelompok sejauh 3 m. Selanjutnya kecepatan berjalan kelompok di depan akan lebih cepat dibandingkan kecepatan berjalan kelompok yang berada di belakangnya. Namun kecepatan berjalan perorangan dengan arah berlawanan dapat lebih lambat dibanding kecepatan berjalan secara berkelompok (Lee, et al. 2004).

Muhammad, et al. (2012) mengidentifikasi bahwa penentuan waktu evakuasi berdasarkan kriteria IMO bersifat parsial, dengan penumpang yang dievakuasi dianggap berkumpul pada titik tertentu, sebelum bergerak secara bersama menuju titik berikutnya sehingga penentuan waktu evakuasi penumpang sangat dipengaruhi oleh perubahan kepadatan penumpang terhadap kecepatan pergerakan. Namun pada kenyataannya pergerakan penumpang selama proses evakuasi dapat dikatakan bergerak secara simultan. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi kepadatan jalur evakuasi adalah mengurai tumpukan penumpang pada jalur-jalur alternatif yang memungkinkan dapat mempercepat evakuasi (Muhammad, et al. 2013).

Makalah ini membahas tentang lokasi kritis atau lokasi yang berpotensi mengakibatkan terjadinya kegagalan evakuasi, khususnya pada kapal penyeberangan antarpulau. Metode yang digunakan untuk mengidentifikasi lokasi kritis atau lokasi terjadinya penumpukan penumpang selama proses evakuasi tersebut adalah Metode Pergerakan Simultan (MPS).

METODOLOGI PENELITIAN

Ketentuan dan anggapan yang digunakan dalam menentukan lokasi kritis dan lokasi konsentrasi terjadinya penumpukan penumpang adalah: (1) Kriteria evakuasi dan asumsi aliran spesifik serta kecepatan orang yang dipergunakan adalah sebagaimana ketentuan IMO 2002; dan (2) Jalur evakuasi yang digunakan dalam program simulasi menggunakan jalur evakuasi penumpang kelas ekonomi di KMP Jatra II.

Sejak Tahun 1970 IMO telah mengembangkan aturan untuk proses evakuasi penumpang kapal laut sebagaimana tertera pada ketentuan SOLAS. Tahun 1999 IMO mengeluarkan MSC Circ. 909, yang berisi pedoman interim analisis evakuasi sederhana, khususnya untuk kapal penumpang tipe Ro-Ro (IMO, 1999). Ketentuan tersebut adalah upaya awal untuk menganalisis secara keseluruhan tentang pergerakan penumpang di atas kapal selama proses evakuasi. Akhirnya pada tahun 2002 IMO menerbitkan MSC Circ. 1033 dengan judul pedoman interim analisis evakuasi untuk kapal baru dan yang sudah ada (IMO, 2002). Aturan tersebut berisi dua metode analisis penyalamatan penumpang, yaitu: (1) analisis sederhana sebagaimana yang digambarkan pada MSC Circ. 909; dan (2) analisis lanjut sesuai dengan perkembangan kondisi selama evakuasi. Kriteria standar analisis sederhana total waktu maksimum evakuasi penumpang kapal Ferry Ro-Ro tertera pada Gambar 1. Skema pada Gambar 1 dapat disederhanakan menjadi persamaan berikut:

$$\text{Total Waktu Evakuasi} = (A + T) + 2/3 (E + L) \leq 60 \text{ menit}; E + L \leq 30 \text{ menit} \quad (1)$$

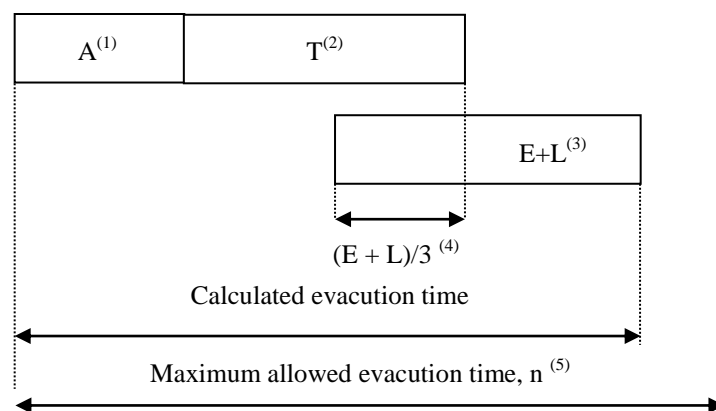
dengan:

A = Waktu tanggap

T = Waktu perjalanan

E = Waktu embarkasi

L = *Launching time*



Gambar 1 Waktu Evakuasi Maksimum Sesuai Kriteria IMO (2002)

Aliran Spesifik dan Kecepatan Penumpang

Nilai-nilai aliran spesifik dan kecepatan penumpang yang digunakan dalam program simulasi evakuasi penumpang menggunakan sejumlah koefisien yang disyaratkan oleh IMO. Nilai-nilai ini disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2 (IMO, 2002).

Tabel 1 Nilai Aliran Spesifik dan Kecepatan Orang sebagai Fungsi Kepadatan (IMO, 2002)

Jenis Fasilitas	Kepadatan (D) (p/m ²)	Aliran Spesifik (FS) (p/ms)	Kecepatan Orang (S) (m/s)
<i>Corridors</i>	0	0	1,2
	0,5	0,65	1,2
	1,9	1,3	0,67
	3,2	0,65	0,2
	≥ 3,5	0,32	0,1

Tabel 2 Nilai Aliran Spesifik dan Kecepatan Orang (IMO, 2002)

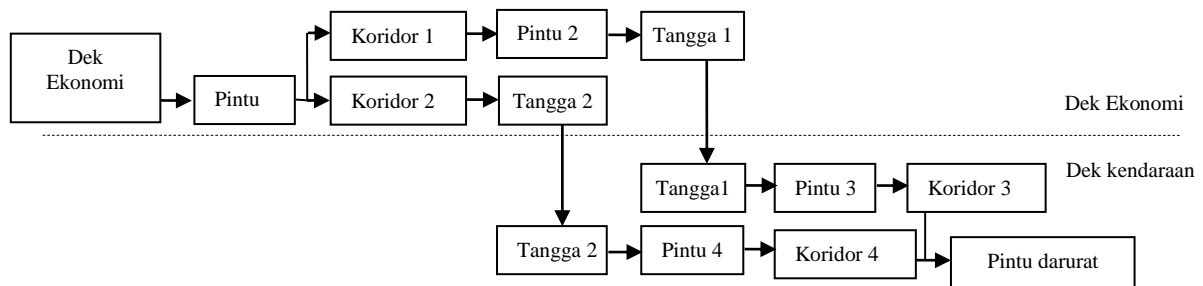
Jenis Fasilitas	Aliran Spesifik (FS) (p/ms)	Kecepatan orang (S) (m/s)
<i>Stairs (down)</i>	0	1,0
	0,54	1,0
	0,11	0,55
<i>Stairs (up)</i>	0	0,8
	0,43	0,8
	0,88	0,44
<i>Corridors</i>	0	1,2
	0,65	1,2
	0,13	0,67

Jalur Evakuasi

Jalur evakuasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah salah satu jalur pada KMP Jatra II dengan ukuran utama L (88 m), B (15,6 m), H (5 m), GRT (3932 ton), dan kecepatan 16 knot, beroperasi pada trayek Merak-Bakauheni, berkapasitas 751 penumpang dan 50 kendaraan. Ruang penumpang KMP Jatra II terdiri atas ruang ekonomi dan ruang bisnis, masing-masing berkapasitas 288 penumpang dan terletak pada geladak ruang penumpang ekonomi, dan ruang eksekutif berkapasitas 175 penumpang dan terletak pada geladak penumpang eksekutif, yaitu satu lantai di atas geladak penumpang ekonomi. Dalam proses evakuasi penumpang kapal KMP Jatra II dilayani 3 koridor embarkasi yang berada pada geladak penumpang eksekutif. Pada penelitian ini jalur yang dianalisis terbatas pada jalur evakuasi dari ruang penumpang kelas ekonomi menuju pintu darurat pada geladak kendaraan karena jalur tersebut merupakan jalur terpadat (Muhammad et al, 2012). Pembagian ruang KMP Jatra II dan Model Hidrolik Jalur Evakuasi kapal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Tabel 3.



Gambar 2 Pembagian Ruang KMP Jatra II



Gambar 3 Model Hidrolik Jalur Evakuasi KMP Jatra II

Tabel 3 Jumlah Penumpang dan Panjang Jalur Evakuasi KMP Jatra II

Dari	Jumlah Penumpang	Lebar (m)	Panjang (m)	Luas (m ²)	Tujuan
Dek Ekonomi-Pintu 1	144	1,2	-	-	Ke Koridor 1 dan 2
Dek Ekonomi-Koridor 1	72	2,4	10,00	24,00	Ke Pintu 2
Dek Ekonomi-Koridor 2	72	2,4	10,00	24,00	Ke Tangga 2
Dek Ekonomi-Pintu 2	72	0,6	-	-	Ke Tangga 1
Dek Ekonomi-Tangga 1	72	0,6	9,68	5,81	Ke Pintu 3
Dek Ekonomi-Tangga 2	72	0,6	9,68	5,81	Ke Pintu 4
Dek Kendaraan-Pintu 3	72	0,6	-	-	Ke Koridor 3
Dek Kendaraan-Pintu 4	72	0,6	-	-	Ke Koridor 4
Dek Kendaraan-Koridor 3	72	0,60	13,00	7,80	Ke Pintu Darurat
Dek Kendaraan-Koridor 4	72	0,60	24,60	14,76	Ke Pintu Darurat

ASUMSI DAN MODEL PROGRAM SIMULASI

Pada pergerakan simultan dalam proses evakuasi penumpang kapal dianggap penumpang melakukan pergerakan secara bersama ketika ada aba-aba “evacuate” atau meninggalkan kapal. Selama pergerakan tersebut kepadatan pada tiap titik di sepanjang

jalur evakuasi senantiasa berubah seiring dengan waktu. Demikian pula kecepatan pergerakan orang sebagai fungsi terhadap kepadatan serta lebar jalur evakuasi yang dilalui.

Waktu evakuasi adalah waktu total yang diperlukan untuk semua penumpang tiba di titik akhir evakuasi (*muster station*). Waktu kemacetan pada saat melewati tangga serta pergantian jenis jalur evakuasi sudah termasuk dalam waktu tersebut sehingga tidak perlu penambahan waktu seperti yang direkomendasikan oleh IMO.

Kepadatan dan kecepatan pergerakan orang pada setiap jalur evakuasi didasarkan pada standar IMO. Kecepatan awal pergerakan orang pada setiap jalur evakuasi dianggap sama dengan kecepatan pada saat melewati lokasi jalur evakuasi sebelumnya. Pergerakan orang selama berada pada jalur evakuasi tertentu ditentukan sesuai dengan kepadatan dan dimensi ruang jalur evakuasi, khususnya lebar jalur. Ketika kepadatan pada satu ruang tertentu sudah melebihi kapasitas maksimum ruangan tersebut, dianggap tidak ada lagi perpindahan orang ke ruang tersebut. Dengan demikian kecepatan pergerakan orang pada ruangan sebelumnya akan sama dengan nol.

Untuk kasus ketika terjadi pertemuan dua jalur evakuasi pada titik yang sama, jumlah orang yang masuk ke titik tersebut sama dengan jumlah aliran orang dari kedua aliran yang berbeda yang masuk secara bersamaan. Pada kasus ketika transisi dari satu ruangan menuju dua jalur yang berbeda, aliran orang pada masing-masing jalur adalah sama. Anggapan ini sedikit berbeda dengan asumsi yang ada pada regulasi IMO, yaitu jumlah aliran pada setiap jalur disesuaikan dengan dimensi jalur yang dilalui.

Titik atau lokasi kritis adalah lokasi dengan jumlah penumpang pada lokasi tersebut cenderung bertambah sampai batas waktu tertentu atau sampai semua penumpang yang ada pada lokasi sebelumnya sudah masuk pada lokasi tersebut. Sedangkan lokasi yang stabil adalah lokasi dengan jumlah penumpang yang ada pada lokasi tersebut cenderung tidak mengalami perubahan sepanjang proses evakuasi atau sampai semua penumpang yang ada pada lokasi tersebut sudah berpindah ke lokasi selanjutnya.

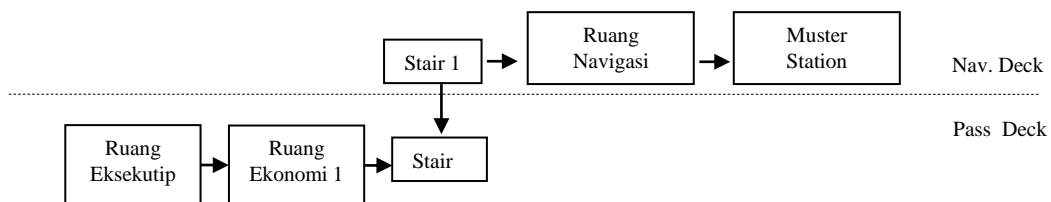
Model program simulasi evakuasi penumpang menggunakan Metode Pergerakan Simultan (MPS). Program tersebut terdiri atas tiga bagian pokok, yaitu *input*, proses, dan *output*. Program *input* meliputi jumlah jalur dan jenis lokasi transisi pada setiap jalur serta dimensi masing-masing titik serta harga aliran spesifik dan kecepatan orang yang dipergunakan dalam proses *input* menggunakan sejumlah koefisien sebagaimana disyaratkan oleh IMO. Bagian proses terdiri atas perhitungan kecepatan pergerakan, jarak tempuh orang pada setiap jalur, serta jumlah orang yang ada pada setiap titik pada jalur evakuasi. Program *output* dengan metode MPS ini adalah jumlah penumpang pada setiap lokasi di sepanjang jalur evakuasi pada setiap satuan waktu serta total waktu evakuasi. Berdasarkan distribusi dan perubahan distribusi penumpang pada seriap lokasi di jalur evakuasi, lokasi-lokasi kritis yang memungkinkan terjadinya penumpukan penumpang serta perlambatan proses evakuasi dapat diidentifikasi.

Program simulasi yang digunakan dalam menganalisis titik kritis dalam penelitian ini telah divalidasi melalui pengujian langsung pada kapal serupa, yaitu KMP Sangke

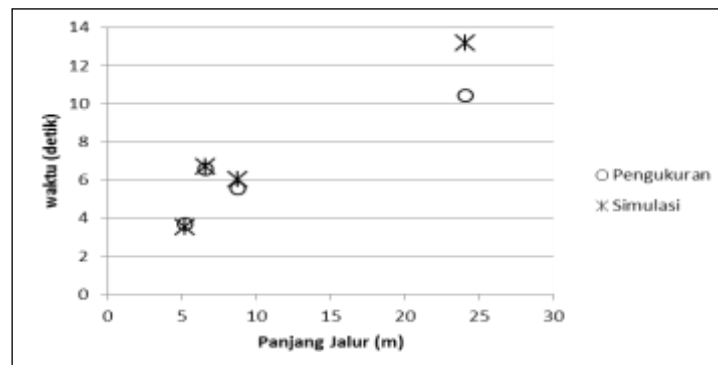
Palangga dengan ukuran utama L (40,15 m), B (12 m), H (3,2 m), dan kecepatan 11 knot. KMP Sangke Palangga beroperasi pada trayek Bira-Pamatata tersebut berkapasitas 214 penumpang dan 19 kendaraan. Distribusi penumpang masing-masing: 40 orang pada ruang eksekutif, 98 orang pada ruang ekonomi 1, dan 76 orang pada ruang ekonomi 2. Dalam proses evakuasi penumpang KMP Sangke Palangga dilayani 1 koridor embarkasi yang terletak pada geladak navigasi atau berada satu geladak di atas geladak penumpang. Pada geladak kendaraan juga terdapat 2 pintu darurat yang sewaktu-waktu dapat digunakan.

Sejumlah skenario pengujian dikembangkan dalam menentukan waktu evakuasi, khususnya terhadap panjang dan lebar jalur yang dilalui. Skenario pengujian adalah sebagai berikut: (i) Skenario 1, evakuasi penumpang dari ruang eksekutif menuju tangga naik ruang ekonomi 1 (koridor eksekutif-pintu-ruang ekonomi-tangga naik); (ii) Skenario 2, evakuasi penumpang dari ruang eksekutif menuju *muster station* (koridor eksekutif-pintu-ruang ekonomi-tangga naik-ruang navigasi-pintu-*muster station*); (iii) Skenario 3, evakuasi penumpang dari ruang ekonomi 1 menuju ruang navigasi (ruang ekonomi-tangga naik- ruang navigasi); dan (iv) Skenario 4, evakuasi penumpang dari ruang ekonomi 1 menuju *muster station* (pintu-ruang navigasi-pintu).

Hasil pengujian dan simulasi menunjukkan bahwa perbedaan terbesar terjadi pada skenario 2, yaitu sekitar 26 %. Sedangkan 3 skenario lainnya memiliki perbedaan kurang dari 4 %. Besarnya perbedaan hasil pada skenario 2 disebabkan pada jalur tersebut terdapat jalur transisi, seperti perubahan dari koridor ke tangga dan pintu-pintu. Model hidrolis jalur evakuasi dan data hasil pengujian berdasarkan skenario masing-masing ditampilkan pada Gambar 4, Gambar 5, dan Tabel 4.



Gambar 4 Model Hidrolis Jalur Evakuasi KMP Sangke Palangga



Gambar 5 Perbandingan antara Pengujian dan Simulasi

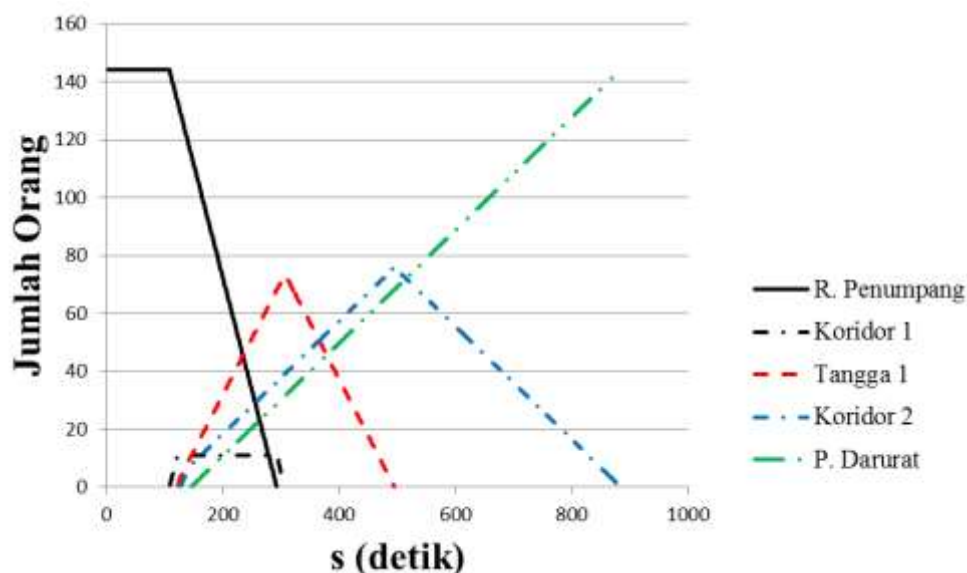
Tabel 4 Perbandingan antara Hasil Pengujian dan Simulasi

Asal Penumpang (Skenario)	Panjang Jalur (m)	Pengukuran (dt)	Simulasi (dt)	Perbedaan (%)
Ruang Eksekutif/Skenario 1	8,75	5,56	6,03	8 %
Ruang Eksekutif/Skenario 2	24,05	10,41	13,16	26 %
Ruang Ekonomi/Skenario 3	6,6	6,58	6,7	2 %
Ruang Ekonomi/Skenario 4	5,2	3,68	3,54	4 %

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Simulasi evakuasi penumpang dengan metode MPS pada penelitian ini dibatasi pada analisis jalur evakuasi dari ruang penumpang kelas ekonomi pada KMP Jatra II menuju ke pintu darurat yang terdapat di geladak kendaraan sebagaimana terlihat pada Gambar 3. Jumlah total penumpang yang dievakuasi pada jalur tersebut sebanyak 288 orang dengan masing-masing 144 orang pada sisi kanan dan 144 orang pada sisi kiri kapal.

Gambar 4 menunjukkan histori waktu evakuasi yang diperlukan penumpang untuk tiba hingga pintu darurat. Pada detik ke-100 penumpang mulai meninggalkan ruang kelas ekonomi. Selanjutnya pada detik ke-290 seluruh penumpang telah keluar dari ruang tersebut. Pada rentang waktu tersebut, tepatnya pada detik ke 140, sudah ada penumpang yang tiba pada pintu darurat sesuai jalur yang ditentukan dan hingga detik ke-870 seluruh penumpang sudah berada pada pintu darurat. Waktu tersebut lebih kecil daripada yang disyaratkan IMO (< 60 menit).

**Gambar 4** Hasil Simulasi Evakuasi Penumpang KMP Jatra II

Berdasarkan kepadatan di sepanjang jalur evakuasi, potensi kepadatan (jalur kritis) terjadi pada pintu 1, karena jalur tersebut dilalui oleh seluruh penumpang kelas ekonomi

(2 x 144 orang) yang selanjutnya terbagi menjadi dua jalur, yaitu masing-masing 144 penumpang menuju koridor 1 dan koridor 2. Jumlah maksimal penumpang yang terakumulasi pada pintu 1 tersebut adalah 72 orang pada detik ke-300 dan jumlah ini berangsur berkurang setelah ada penumpang yang tiba di pintu darurat. Hal tersebut disebabkan dimensi (lebar) jalur pada koridor 1 dan koridor 2 lebih kecil dibandingkan dengan pintu masuk kedua koridor tersebut. Kepadatan serupa juga terjadi pada daerah pertemuan penumpang yang berasal dari koridor 3 dan koridor 4 menuju pintu darurat. Pada lokasi tersebut terjadi penumpukan penumpang hingga mencapai 76 orang pada detik ke-490.

Total waktu evakuasi yang diperlukan untuk mengevakuasi seluruh penumpang dari ruang penumpang kelas ekonomi menuju ke pintu darurat yang berada di geladak kendaraan adalah 870 detik atau 14,5 menit. Hasil ini lebih kecil dibandingkan dengan total waktu evakuasi yang diperoleh dengan memakai metode IMO, yaitu 16,43 menit (Muhammad, et al, 2012). Hal tersebut disebabkan pada perhitungan dengan Metode IMO terdapat parsialisasi dalam mengestimasi waktu yang digunakan untuk melewati seluruh jalur evakuasi. Hal lain yang memungkinkan terjadinya perbedaan hasil perhitungan adalah karena ada anggapan waktu tambah akibat kemacetan atau antrian yang terjadi pada lokasi atau titik transisi tertentu. Khusus metode MPS kemacetan atau antrian yang terjadi direalisasikan dalam bentuk perubahan kecepatan pergerakan penumpang yang semakin lambat. Sementara pada metode parsial koreksi waktu akibat kemacetan atau antrian berupa penambahan waktu evakuasi tanpa memperhitungkan jumlah dan kondisi titik transisi di sepanjang jalur evakuasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Total waktu evakuasi yang diperlukan oleh penumpang kelas ekonomi KMP Jatra II, mulai dari meninggalkan ruang penumpang hingga seluruh penumpang berada pada pintu darurat geladak kendaraan, adalah 870 detik atau 14,5 menit. Waktu tersebut lebih kecil daripada waktu yang disyaratkan IMO (< 60 menit).
2. Potensi kepadatan atau jalur kritis terjadi pada pintu 1 karena jalur tersebut dilalui oleh semua penumpang kelas ekonomi sebelum memasuki koridor 1 dan koridor 2. Jumlah penumpukan penumpang pada lokasi tersebut adalah 72 orang pada detik ke-300. Selanjutnya, penumpukan penumpang terjadi pada daerah pertemuan penumpang dari koridor 3 dan koridor 4 menuju pintu darurat geladak kendaraan. Pada lokasi ini terjadi penumpukan penumpang hingga mencapai 76 orang pada detik ke-490.

3. Potensi kepadatan atau titik kritis terjadi disebabkan adanya pertemuan antara dua atau lebih jalur evakuasi, khususnya lokasi di sekitar pintu dan tangga, atau penyempitan jalur evakuasi ruang penumpang dengan jumlah penumpang yang besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DP2M DIKTI untuk pendanaan penelitian ini. Terima kasih pula kepada teknisi dan mahasiswa yang tergabung dalam kelompok penelitian bersama pada Labo-Based Education Laboratory Keselamatan Kapal Universitas Hasanuddin yang telah membantu selama pengambilan data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Hakkarainen, T., Hietaniemi, J., Hostikka, S., Karhula, T., Kling, T., Mangs, J., Mikkola, E., dan Oksanen, T. 2009. *Survivability for Ship in Case of Fire*. Final Report of SURSHIP-FIRE Project.
- International Maritime Organization. 1999. *Interim Guidelines for A Simplified Evacuation Analysis on Ro-Ro Passenger Ships*. MSC/Circ. 909. London.
- International Maritime Organization. 2002. *Interim Guidelines for Evacuation Analyses for New and Existing Passenger Ships*. MSC/Circ. 1033. London.
- Lee, D., Kim, H.A., Park J.H., dan Park, J.B. 2003. *The Current Status and Future Issues in Human Evacuation from Ships*. Journal of Safety Science, 41: 861-876.
- Lee, D., Park J.H. dan Kim, H.A. 2004. *Study on Experiment of Human Behavior for Evacuation Simulation*. Journal of Ocean Engineering, 31: 931-941.
- Muhammad, A.H., Paroka, D., Sutomo, R., dan Daud, H.N. 2012. *Studi Jalur Evakuasi pada Kapal Penyeberangan Antarpulau*. Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember..
- Muhammad, A.H., Paroka, D., Sutomo, R., dan Daud, H.N. 2013. *Perancangan Jalur Evakuasi pada Kapal Penyeberangan Antarpulau*. Jurnal Riset Teknologi Kelautan, 11 (2): 159-282.
- Vanem, E. dan Skjong, R. 2006. *Designing for Safety in Passenger Ships Utilizing Advanced Evacuation Analyses-A Risk Based Approach*. Journal of Safety Science, 44: 111-135.